



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGIA E AGROPECUÁRIO
CAMPUS II – LAGOA SECA
BACHARELADO EM AGROECOLOGIA**

ELIZABETE NUNES DA ROCHA

**DESTILADOR SOLAR ECONÔMICO PARA FORNECER ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO ÀS FAMÍLIAS DE PEQUENOS AGRICULTORES RURAIS**

**LAGOA SECA – PB
2012**

ELIZABETE NUNES DA ROCHA

**DESTILADOR SOLAR ECONÔMICO PARA FORNECER ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO ÀS FAMÍLIAS DE PEQUENOS AGRICULTORES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco José Loureiro Marinho

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Joaquim Vitoriano Pereira - CCAA – UEPB

R672d Rocha, Elizabete Nunes da.

Destilador solar econômico para fornecer água para consumo humano às famílias de pequenos agricultores rurais. Lagoa Seca – PB / Elizabete Nunes da Rocha. – 2012.

17f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agroecologia) – Universidade Estadual da Paraíba. Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2012.

“Orientação: Prof. Dr. Francisco José Loureiro Marinho. Departamento de Agroecologia e Agropecuária”.

1. Destilador solar. 2. Salinidade. 3. Recursos hídricos. 4. Água. I – Título.

21. ed. CDD 333.792 3



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
Centro de Ciências Agrárias e Ambientais
Departamento de Agroecologia e Agropecuária
Campus II – Lagoa Seca
Curso Bacharelado em Agroecologia

RELATÓRIO DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AOS 03 DIAS DO MÊS DE JULHO DO ANO 2012 AS 10 HORAS, NA SALA INTRODUTIVA, COM A PRESENÇA DE PROFESSORES(AS) PARTICIPANTES DA BANCA EXAMINADORA ABAIXO DISCRIMINADA, REALIZOU-SE A APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DESTILADOR SOLAR ECONÔMICO PARA FORNECER ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO ÀS FAMÍLIAS DE PEQUENOS AGRICULTORES RURAIS

DESENVOLVIDO PELO(A) ALUNO(A) ELIZABETE NUNES DA ROCHA

A APRESENTAÇÃO TRANSCORREU EM CONFORMIDADE COM AS NORMAS ESTABELECIDAS PELA RESOLUÇÃO/CONSEPE/32/2009. O(A) ALUNO(A) UTILIZOU 20 MINUTOS PARA A APRESENTAÇÃO E A BANCA EXAMINADORA UTILIZOU IGUAL TEMPO PARA AS DEVIDAS ARGUIÇÕES. AO TÉRMINO DA APRESENTAÇÃO, A BANCA SE REUNIU ISOLADAMENTE E EMITIU O PARECER ATRIBUINDO A NOTA 3,5 (três e meio) AO(A) ALUNO(A), QUE FOI DIVULGADA PELO(A) ORIENTADOR(A).

LAGOA SECA, 03 de julho de 2012

ORIENTADOR(A) A. M. S.

EXAMINADOR(A) Elizabete Nunes da Rocha

EXAMINADOR(A) D. J. de Queiroz

ALUNO(A) Elizabete Nunes da Rocha MATRÍCULA 081360355

A. M. S.

COORDENADOR(A) DO TCC

*Dedico à Deus, a Ele toda honra e toda a glória abaixo e acima dos céus.
Dedico este momento aos meus pais João Nunes da Rocha e Josefa Barbosa da Rocha por sempre acreditarem em mim.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à **Deus**, por todas as bênçãos concedidas ao longo de minha vida, entre elas, a conclusão deste curso.

Aos meus **pais, irmãos e amigos** pelo companheirismo e apoio em todos os momentos em que precisei.

À minha querida irmã, **Rejane Nunes da Rocha**, pela compreensão, apoio e, mais que tudo isso, pela sua simples presença em minha vida. Ser sua irmã é um orgulho para mim.

A **Erinaldo Almeida, Giliane Vicente, Marcelo Pereira, Gilmara Lima**, pela amizade e fraternidade. Em especial, as minhas amigas e irmãs **Kátia Moreira e Evadne Sobral** que sempre me apoiaram nos momentos difíceis, com serenidade e alegria de viver, vocês são meu espelho.

Ao “**Professor Chico**”, pois não existem palavras que expressem minha gratidão e carinho, pois seus ensinamentos foram além do conhecimento técnico. A mim foi e sempre será uma honra trabalhar com o senhor.

Aos **professores**, que durante todo o curso primaram pelo ensinamento e dedicação ao nosso conhecimento.

A todos os **funcionários** e a **coordenação do curso** por nos darem condições para que pudéssemos chegar aonde chegamos.

Enfim, a todas as **pessoas** que colaboraram para a concretização deste sonho, com palavras de incentivo, pensamentos positivos e demais manifestações de amizade.

E ao meu companheiro, *in memoriam*, que hoje ausente, mas, sempre presente em meu coração **Israel Guedes Ferreira**, com amor.

A todos vocês meu: **Muito obrigada!!!**

A natureza não faz nada em vão.
(ARISTÓTELES)

DESTILADOR SOLARECONOMICO PARA FORNECER ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO ÀS FAMÍLIAS DE PEQUENOS AGRICULTORES RURAIS

RESUMO

Com o objetivo de fornecer água potável aos agricultores do semi-árido nordestino, estudou-se a viabilidade técnica de um destilador solar constituído de um coletor solar para aquecimento de água salina e um “evaporador/condensador” que recebe a água pré-aquecida do coletor solar. Foram avaliados dois métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação. No Método 1 (M_1) o fluxo de água foi constante (1 L h^{-1}), mantendo-se uma lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria. No Método 2 (M_2) o fluxo de água, advindo do coletor solar, ocorria apenas às 15 horas quando o destilador/condensador era abastecido com água quente advinda do coletor solar, e após o abastecimento o fluxo de água era interrompido. Os volumes de água destilada produzida no sistema são suficientes para atender as necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família na zona rural. Em termos médios a produção de água destilada por radiação solar incidente no sistema em M_2 foi 46,87% maior que em M_1 .

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de água – Salinidade – Recursos hídricos.

DISTILLER SOLAR TO PROVIDE WATER FOR HUMAN CONSUMPTION FOR RURAL FAMILIES OF SMALL FARMERS

ABSTRACT

With the goal of providing potable water to farmers in the semi-arid Northeast, we studied the technical feasibility of a solar still consists of a solar collector for heating water and a saline "evaporator / condenser" which gets its water pre-heated solar collector. Two methods were backed driving the flow of water from the solar collector to the evaporation pan. In Method 1 (M1) the water flow was constant (h-1 L 1), maintaining a 10mm slide within the masonry box. In Method 2 (M2) the flow of water coming from the solar collector, occurred only at 15 hours when the distiller / condenser was filled with hot water that comes from the solar collector, and after supplying the water flow was stopped. The volumes of distilled water produced in the system are sufficient to meet the needs of water for direct consumption of a family in the countryside. On average the production of distilled water for solar radiation incident on the system M2 was 46.87% higher than in M1.

KEY-WORDS: Water quality – Salinity – Water resources.

INTRODUÇÃO

A zona rural do Nordeste brasileiro caracteriza-se por apresentar limitada e irregular disponibilidade de recursos hídricos, além de elevados níveis de salinidade em grande parte dos solos e das águas. Em algumas regiões a carência extrema de água de boa qualidade força as populações a consumirem águas com elevados níveis de contaminações biológicas e químicas (sais), com conseqüentes danos à saúde pública (AMARAL, NADER FILHO, *et al*, 2003).

O Governo Federal, através do Programa Água Doce, tem priorizado a instalação, manutenção e recuperação de dessalinizadores baseados na osmose reversa ou tecnologias semelhantes, com vistas a fornecer água de boa qualidade às populações rurais. Esses equipamentos proporcionam substancial melhoria na qualidade da água, porém causam sérios problemas ambientais, devido ao elevado volume de água salina de descarte ou rejeito, advinda do processo de dessalinização (cerca de 50% da vazão da água retirada dos mananciais e com salinidade ainda maior, pela concentração dos sais durante o processo de filtração). Além disso, os custos de implantação e principalmente de manutenção desses equipamentos são elevados. A dessalinização por destilação solar proporciona água segura para o consumo humano, é de fácil aplicação, fácil transferência aos usuários de comunidades dispersas de agricultores e outros setores sócio-ocupacionais sem água potável. Nesse contexto, foi estudada a viabilidade para o agricultor de base familiar de um modelo de destilador solar híbrido constituído de um coletor solar plano para aquecimento de água salina e um “evaporador/condensador” que recebe a água pré-aquecida do coletor solar. As águas destiladas são reconstituídas por águas salinas tratadas através do método SODIS (SODIS, 2005) para obtenção de água com níveis de sólidos totais dissolvidos adequados para o consumo humano, que é no mínimo de 30 mg.L⁻¹ (ANVISA, 2005) e no máximo de 1000mg.L⁻¹ (BRASIL, 2005).

REFERENCIAL METODOLÓGICO

Foi construído um modelo de destilador solar na sede da UTOPIA (Unidade Técnica Objetivando Práticas Inovadoras e Adaptadas), no Município de Campina Grande, PB, cujas

coordenadas geográficas são: 7°12'31.32" de latitude Sul, 35°54'46.44" de longitude Oeste do meridiano de Greenwich; temperatura média anual de 23°C, precipitação média anual de 803 mm e evapotranspiração média anual de 1418mm. A população total de Campina Grande é de 383.764 habitantes, densidade demográfica de 597,9 hab.km² e IDH de 0,749 (IBGE 2009).

O destilador solar consiste de uma caixa de PVC de 0,5 m³, pintada em preto fosco, elevada a 100 cm do solo, para abastecimento do sistema. A caixa de entrada é ligada a uma tubulação de 20 canos de polietileno (24,5mm de diâmetro e 6 metros de comprimento) revestida com garrafas PET e caixas Tetra Pak, todas pintadas em preto e interligadas em disposição paralela, em total de 20 unidades para coletar a energia solar para o aquecimento da água bruta (coletor solar). Esse sistema de canos, garrafas PET e caixas Tetra Pak é isolado termicamente do solo através de mantas de isopor. O coletor solar é interligado a um evaporador/condensador que consiste em uma caixa construída em alvenaria (com revestimento em pedra) com 9m² de área (elevada 40 cm do solo para evitar contaminações biológicas), também pintada em preto fosco e isolada termicamente por mantas de isopor (Figura 1).



Figura 1: Caixa de alvenaria para evaporação/condensação da água após o aquecimento no coletor solar

O processo de destilação funciona quando a radiação solar, que passa através da cobertura transparente, aquece a água e o tanque numa temperatura superior à da cobertura. O gradiente da temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor dentro do destilador provocam a condensação do vapor de água sobre a superfície da parte interior da cobertura transparente. A película delgada do condensador escorre até as canaletas, direcionando-se em seguida até o depósito da água destilada.

Realizaram-se leituras dos volumes de água destilada ($L \text{ dia}^{-1}$) nos períodos noturnos (7hs) e diurnos (17hs). Avaliaram-se a temperatura da água no final das tubulações de aquecimento (coletor solar) e no interior da caixa (saída de água bruta para controlar a entrada de água quente). Os valores de radiação solar (Q) foram estimados através da equação proposta por Prescott (PENMAN, 1948): $Q = Q_0 (a + bn/N)$; onde “ Q_0 ” representa a irradiação incidente no caso limite da atmosfera ser perfeitamente transparente, “ N ” representa a insolação máxima possível em hora e os coeficientes “ a ” e “ b ” são determinados a partir de séries de observações simultâneas de Q e n (insolação observada); os dados de insolação foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Algodão.

Avaliaram-se dois métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação. No Método 1 (M1) o fluxo de água transferido do coletor solar para o evaporador/condensador era constante ($1 L \text{ h}^{-1}$), mantendo-se um lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria; as águas excedentes (não evaporadas) eram coletadas através de um cano localizado na caixa de alvenaria e direcionada para o recipiente para serem reaproveitadas no sistema. No Método 2 (M2), o fluxo de água advindo do coletor solar ocorria apenas as 15 horas quando o destilador/condensador era abastecido com água quente advinda do coletor solar, após o abastecimento o fluxo de água era interrompido; nesse caso a lâmina no interior do evaporador/condensador, inicialmente de 10mm, era reduzida gradualmente devido a evaporação até o novo abastecimento.

Os volumes de águas destiladas ($L \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foram divididos pelos valores de radiação solar incidente no sistema (expressa em $103 \text{ Kcal m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no dia de cada avaliação, obtendo-se dados em volume de água destilada produzida por radiação solar incidente no sistema ($L 10^{-3} \text{ Kcal}^{-1}$).

Para se avaliar as produções de água destilada utilizou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com quatro repetições e 10 leituras por repetição. Os volumes de água destilada produzidas foram agrupados levando-se em consideração os valores de radiação solar no dia da avaliação, como segue: radiação solar entre 248 e 495 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco I); 496 e 519 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco II); 520 e 536 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco III) e 537 e 567 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco IV). O delineamento estatístico adotado para se avaliar as produções de água destilada por radiação solar foi inteiramente ao acaso, também com quatro repetições e 10 leituras por repetição.

As análises estatísticas foram realizadas aplicando-se a análise de variância simples e o teste “T” (GOMES, 1978).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de temperatura ambiente, no final do coletor solar e no interior do destilador observados às 15 horas estão apresentados na Figura 2. Em termos médios a temperatura ambiente foi 29,1 °C, no final do coletor foi de 50,2 °C e no interior do destilador/condensador foi de 44,4 °C. De acordo Lopes (2004) coletores solares metálicos podem aquecer a água da temperatura ambiente até cerca de 100°C, dependendo da temperatura ambiente e da radiação solar

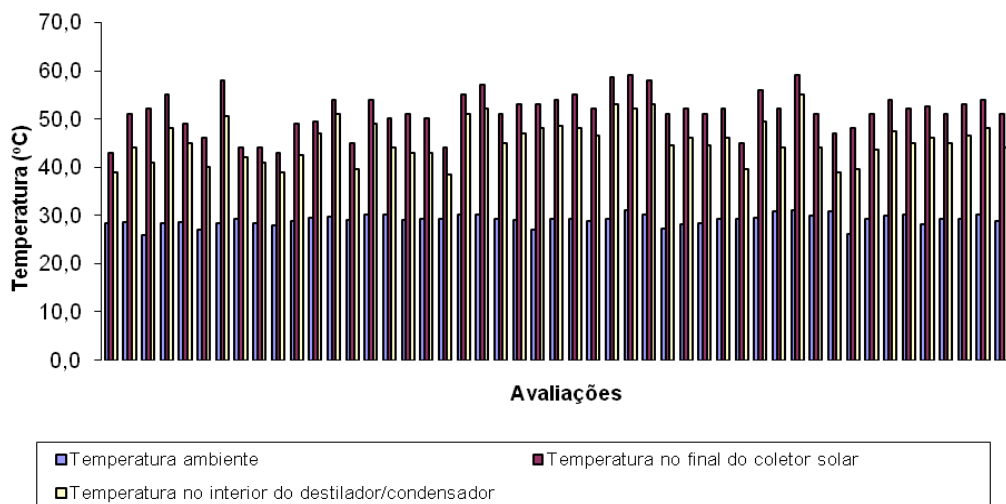


Figura 2: Temperatura ambiente, no final do coletor solar e no interior do destilador solar observada às 15:00 horas durante o período experimental.

Pode-se observar na Figura 3 a radiação solar incidente sobre sistema durante o período experimental. Verifica-se que em termos médios durante o período de avaliação a radiação solar global foi de 508,14 cal cm⁻²dia⁻¹. Segundo Martins et al (2006), os valores de irradiação global incidente em qualquer região do território brasileiro variam entre 365,5 e 576,2 cal cm⁻²dia⁻¹.

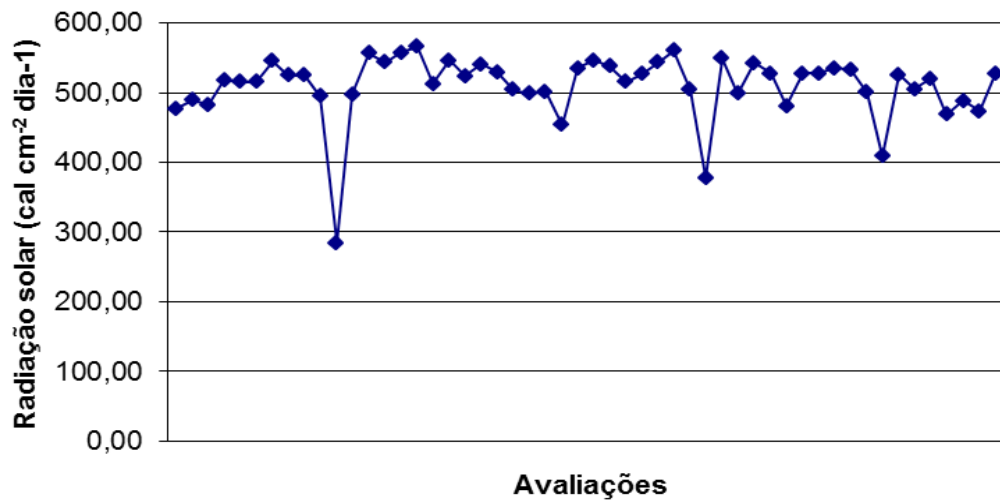


Figura 3: Radiação solar incidente estimada durante o período experimental.

Observam-se na Figura 4 os valores de água destilada no período diurno (dados observados às 18h) e noturno (dados observados às 6h) produzida durante o período experimental. Os dados médios foram de $9,27 \text{ L dia}^{-1}$ para o período diurno e $6,38 \text{ L dia}^{-1}$ para o período noturno. Observa-se que a água destilada produzida no período noturno correspondeu a 40,76% do total do dia; Constatando-se que o sistema acumula calor durante o período diurno o qual é transferido para água que evapora e, devido ao gradiente térmico, condensa durante a noite. Independente do método utilizado os volumes de água destilada obtidos foram satisfatórios (em média de $15,65 \text{ L dia}^{-1}$ ou $1,74 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$), pois são suficientes para suprir necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família nas regiões mais secas do Brasil.

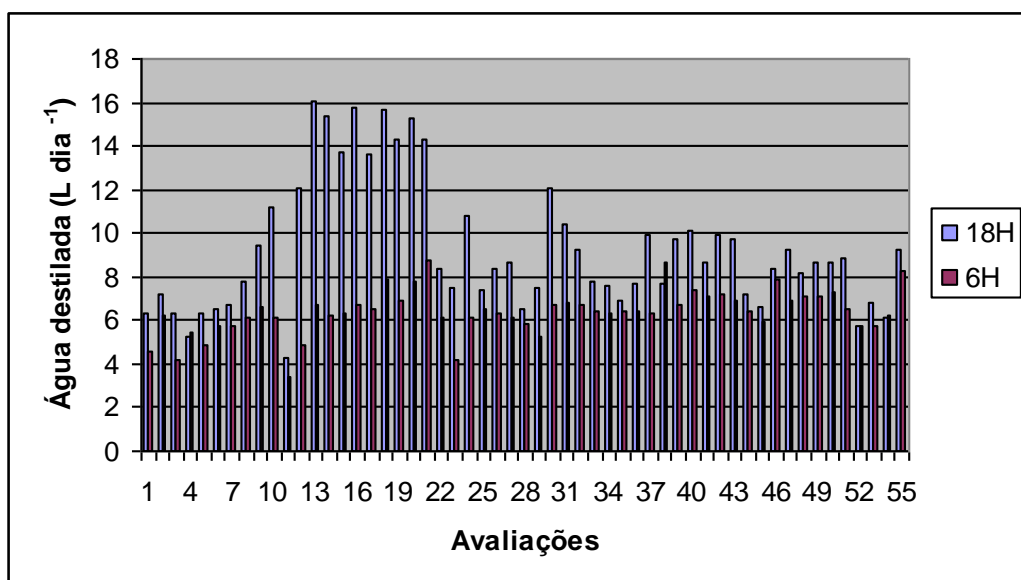


Figura 4: Água destilada (L dia^{-1}) durante o período diurno (18h) e noturno (6h) durante o período experimental.

A dessalinização solar é aplicada em diversos países, com boa aceitação familiar, para produção de água potável, tendo como estímulo o aumento do custo da energia elétrica e com o componente adicional de ser uma tecnologia limpa e sustentável (BOUKAR e HARMIN, 2001).

Pode-se verificar através dos estudos de variância apresentados na Tabela 1 que o volume de água destilada produzida no Método 2 (M_2) foi significativamente ($p < 0,05$) superior aos produzidos no Método 1 (M_1). Verifica-se que em termos médios o M_2 produziu $3,1 \text{ L dia}^{-1}$ de água destilada a mais que o M_1 , ou seja, o M_2 produziu em média 21,05% a mais que o M_1 .

Tabela 1: Resumos de análise variância para produções de água destilada ($\text{L } 9\text{m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) para os métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação.

		S.Q.	Q.M.	F
GL				
Bloco	3	78.05505	26.01835	28.6414 *
Tratamento	1	19.28205	19.28205	21.2260 *
Resíduo	3	2.72525	0.90842	
CV (%)	5,84			
		Médias dos Métodos (L dia^{-1})		
Método				
M_1		14,75		
M_2		17,85		

(**) Significativo a 0,01; (*) Significativo a 0,05 de probabilidade; (^{ns}) Não significativo

(M_1) Fluxo constante de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador (1Lh^{-1}), mantendo-se uma lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria

(M_2) Fluxo de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador interrompido, com redução gradual da lâmina inicial de 10mm (devido a evaporação) no interior da caixa de alvenaria até novo abastecimento.

Verifica-se na Tabela 2 o volume de água destilada produzida por radiação solar incidente no sistema. Também neste caso pode-se constatar que os valores observados em Método 2 (M_2) foram significativamente ($p < 0,01$) superiores aos produzidos no Método 1 (M_1). Observa-se que em termos médios houve um incremento na produção de água destilada por radiação solar incidente no sistema em M_2 de 46,87% em relação a M_1 . Pode-se afirmar que mesmo havendo um adicional de energia humana (abrir e fechar diário de registros), provavelmente o uso do M_2 deve ser o preferido pelo agricultor.

Tabela 2: Resumos de análise variância para produções de água destilada ($L 10^{-3} Kcal^{-1}$) para os métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação.

		S.Q.	Q.M.	F
GL				
Tratamento	1	0,04805	0,04805	147,8462 **
Resíduo	6	0,00195	0,00033	
CV (%)	7,4			
		Médias dos Métodos ($L 10^{-3} Kcal^{-1}$)		
Método				
M ₁			0,32	
M ₂			0,47	

(**) Significativo a 0,01; (*) Significativo a 0,05 de probabilidade; (^{ns}) Não significativo

(M₁) Fluxo constante de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador ($1Lh^{-1}$), mantendo-se uma lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria

(M₂) Fluxo de água transferidos do coletor solar interrompido, com redução gradual da lâmina no interior da caixa de alvenaria até novo abastecimento.

Segundo Soares (2001), um destilador solar pode produzir água para beber sem uso de eletricidade, sem produtos químicos e sem uso de elementos filtrantes.

CONCLUSÃO

O destilador solar proposto mostrou potencial para resolver problemas em pequena escala de dessalinização de água principalmente no interior do Nordeste brasileiro onde o índice de insolação é alto e o índice pluviométrico baixo.

O modelo é acessível ao agricultor de base familiar por ser simples e confiável, o investimento é baixo e a manutenção é pequena.

Os volumes de água destilada produzida no sistema são suficientes para atender às necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família na zona rural. Com o uso de destiladores com maior área será possível suprir também outras demandas hídricas das famílias de agricultores de base familiar do interior nordestino.

O método interrompido de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação foi significativamente superior ao método de fluxo contínuo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Luiz Augusto do.; NADER FILHO, Antônio.; Rossi Junior, Oswaldo Durival.; FERREIRA, Fernanda Lúcia Alves.; BARROS, Ludmilla Santana Soares. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais.** Rev. Saúde Pública vol.37 no.4 São Paulo Aug. 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-89102003000400017&script=sci_arttext. Consulta em: 16/05/2008.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 274, de 22 de Setembro de 2005.** Disponível em: <http://www.notadez.com.br/content/normas.asp?id=15879>. Acesso em: 13 abr. 2008.

BOUKAR, M.; HARMIM, A. Effect of climate conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study. **Desalination**, v.137. Adrar, Algérie, 2001. p. 15-22.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 16 maio 2006.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental.** 8. Ed. São Paulo: Nobel. 1978. 430 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@ 2007.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso em: 14 de Dezembro de 2009.

LOPES, J. T. **Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar híbrido.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 92p. Dissertação de Mestrado.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: Inpe, 2006. 60 p.

PENNAM, H. L. **Natural Evaporation from open water, Bare Soil e Grass.** Proc. Roy. Soc., 11942, p 145 a 193.

SOARES, C e SENS, M. L. **Tratamento de Água Doce Contaminada Através da Destilação Solar Natural para Uso Domiciliar.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2001.

SODIS – SOLAR WATER DISINFECTION. Disponível em: www.sodis.ch/. Acesso em 12 de dezembro de 2005.